

无线电量测仪器

上册

無線電量測儀器

(上 冊)

令 始 選 編

內 部 資 料

北京科学教育出版社

1961.8.

無線電量測儀器

內容提要

本講義是按照“無線電量測儀器”課程的教學大綱編寫的。

在本講義中，分章敘述下列各種無線電量測儀器：電子管伏特計、電子示波器、低頻訊號發生器、高頻訊號發生器、脈沖訊號發生器、頻率測量儀、電路參數測量儀、振蕩波形測量儀、數字式無線電測量儀器以及測量放大器等。除系統分析上述各種儀器的工作原理和方框結構，以及說明對每種儀器的各個組成部分的特定性能的要求外，並探討各種誤差的來由及其減免措施。此外，尽可能結合具體典型儀器進行計算分析。

本講義可作為教學參考書，並可供從事無線電量測儀器的設計及製造的工程技術人員參考。

目 录

上 册:

第 一 章 概 述

- §1.1 無綫电测量仪器和無綫电电子学技术的不可分割性..... (1)
- §1.2 無綫电测量仪器的分类..... (2)
- §1.3 無綫电测量仪器的生产特点、計量标准以及發展方向..... (4)
- §1.4 無綫电测量仪器課程的任务..... (6)

第 二 章 电子管伏特計

- §2.1 电压测量仪的一般特性及对电压测量仪的要求..... (9)
- §2.2 电子管伏特計的基本方框圖及其主要的技术指标..... (10)
- §2.3 常用的电子管伏特計的典型例子..... (12)
- §2.4 直流电子管伏特計及檢波放大式电子管伏特計..... (23)
- §2.5 放大檢波式电子管伏特計..... (28)
- §2.6 电子管伏特計的輸入电路和輸入阻抗..... (37)
- §2.7 电子管伏特計的測量量程的上下極限..... (40)
- §2.8 二極管平均值檢波器..... (42)
- §2.9 二極管峰值檢波器的基本誤差及低頻附加誤差..... (43)
- §2.10 二極管峰值檢波器的高頻附加誤差..... (48)
- §2.11 二極管峰值檢波器在小訊号工作时的附加誤差..... (52)
- §2.12 二極管峰值檢波器在脉冲工作状态下的特性及誤差分析..... (55)
- §2.13 有关二極管峰值檢波器設計的若干問題..... (63)
- §2.14 二極管峰值檢波器計算举例..... (72)
- §2.15 二極管峰值檢波器的探头結構..... (76)
- §2.16 三極管板極有效值檢波器..... (84)
- §2.17 对数式电子管伏特計..... (90)
- §2.18 电子管伏特計刻度校正自备装置..... (97)
- §2.19 电子管伏特計的設計..... (108)

第 三 章 电子示波器

- §3.1 概述..... (115)
- §3.2 电子射綫管的电子槍..... (117)
- §3.3 电子射綫管的偏轉系統..... (119)
- §3.4 偏轉系統的高頻和瞬变响应..... (121)
- §3.5 特殊偏轉系統..... (130)
- §3.6 偏轉后加速..... (133)
- §3.7 电子射綫管的电气特性..... (135)

§3.8	电子射流管的供电电路	(138)
§3.9	交叉串扰及其防止	(145)
§3.10	电子射流管的屏蔽	(146)
§3.11	电子射流管的荧光屏和潜光镜	(147)
§3.12	电子示波器中放大器的基本要求及其耦合电路	(150)
§3.13	直接耦合电压表的主要参数	(152)
§3.14	扫描电压的直线性	(159)
§3.15	连续扫描发生器中的开关器	(185)
§3.16	脉冲扫描发生器中的开关器	(200)
§3.17	扫描速度的调节	(207)
§3.18	连续扫描发生器中的同步	(208)
§3.19	脉冲扫描发生器中的触发电路和扫描电路的自动控制	(212)
§3.20	扫描发生器中的同步电路	(216)
§3.21	射流的特性和用途	(223)
§3.22	电子示波器中的防电磁干扰装置	(225)
§3.23	测量时间间隔的基本方法——时标发生器	(227)
§3.24	利用直接比较法测量时间间隔装置	(234)
§3.25	电子延时器	(235)
§3.26	电压比较器	(237)
§3.27	各种延时器电路	(242)
§3.28	电子示波器的结构形式	(257)
§3.29	电子示波器的方箱结构及典型仪器介绍	(263)
§3.30	观测周期重复脉冲的取样示波器	(281)
第 四 章	低频振荡器	
§4.1	概述	(290)
§4.2	RC振荡器的基本工作原理	(291)
§4.3	RC振荡器中所使用的 RC 网络	(296)
§4.4	RC振荡器中所用的放大器及其与 RC 反馈电路的配合	(323)
§4.5	RC振荡器振荡频率的稳定问题	(323)
§4.6	RC振荡器振幅的稳定问题	(330)
§4.7	RC振荡器输出中的谐波问题	(339)
§4.8	各种类型的 RC 振荡器	(340)
	(一) 多相振荡器	(341)
	(二) 移相振荡器	(345)
	(三) 文氏电桥式 RC 振荡器	(346)
	(四) 桥 T 振荡器	(348)
	(五) 双 T 振荡器	(349)
	(六) 负跨导振荡器	(351)

§ 4.9	各种 RC 振荡器的评比及典型电路的选择	(354)
§ 4.10	RC 振荡器的工程计算	(358)
§ 4.11	RC 振荡器的计算示例	(363)
§ 4.12	RC 讯号发生器的技术指标及典型国产仪器的介绍	(368)
§ 4.13	RC 讯号发生器的结构及试制经验点滴	(374)
§ 4.14	RC 振荡器中的调频	(379)
§ 4.15	RC 振荡器中的调幅	(387)
§ 4.16	差频讯号发生器概述及其主振器	(388)
§ 4.17	差频讯号发生器的频率稳定性和频率测度恒定性	(390)
§ 4.18	混频器	(395)
§ 4.19	低通滤波器	(400)
§ 4.20	差频讯号发生器具体仪器举例	(401)
§ 4.21	低频讯号发生器的输出装置	(405)
勘误表		本册尾

第一章 概 述

§1.1 無線電測量儀器和無線電電子學技術的不可分割性①

無線電測量技術是為無線電電子學所有各部門服務的一個輔助部門，而無線電測量儀器則是用來進行無線電電子學技術方面種種問題的研究以及設備的研製、生產和使用等等所必需的工具。

無線電測量儀器是和整個無線電電子學技術同時誕生，并共同發展的。兩者之間的密切關係，可以從歷史的事實得到確切不移的結論。對於熟悉無線電發展史的人來說，是用不着多費筆墨再行論證的。這裡只要簡略地舉出幾個歷史片斷，就可以充分地說明這個問題。

大家都知道，波波夫（А·С·Попов）是無線電的創始人。他在1895年創造出世界上第一個無線電接收機。這個接收機本身就是一個測量儀器——雷電指示器。創造這個儀器的本意是用它來記錄遠方發生的雷電。為了進一步改良該儀器的工作，當時波波夫就不得不創造一系列的輔助測量儀器。後來，與波波夫着手建立船舶無線電台同時，為了要確定船艦上的索具對天線的影響，因而發明了世界上第一個測量微小電容量的差動電橋。由此可見，從無線電誕生之日起，無線電測量儀器也就同時發明了。兩者之間就是這樣息息相關的。

為了使問題更加明晰起見，讓我們再舉一個例子。

我們知道，早在1897年湯姆遜（J·J·Thomson）為了測定電子的荷質比，當時就創造了世界上第一個靜電控制偏轉的电子射線管。但是只有在無線電電子學技術發展到一定的階段以後，才會出現現代的电子示波器。顯而易見，在人類沒有掌握电子管放大器、脈沖技術和高壓整流設備等無線電技術以前，根本不可能出現現代的电子示波器。电子示波器在現代無線電測量中所占的特殊地位是大家都十分清楚的。它不但大大促進了無線電電子學的發展，同時也是無線電電子學技術中重要的新部門——雷達和電視的主要組成部分。

無線電測量儀器和無線電電子學技術之間的關係，就是這樣互相依賴、互相促進的關係。可以說，沒有無線電測量儀器，就不可能有無線電電子學技術的發展，也不可能有現代的無線電工業。任何一種無線電電子學技術設備的研究、製造、安裝、調整、驗收、運行、維護和修理工作都離不開無線電測量儀器。在產品的製造過程中，測量儀器的准备工作總是先行的。

隨著無線電測量技術和無線電測量儀器的日益發展和漸臻完善，而主要是由於無線電測量儀器的優點：——高度的準確性、高度靈敏度，以及進行測量的可以遙遠控制和自動記錄等等，它們的服務對象也大大擴展，服務範圍遠遠越過了原來的狹小範圍，而

渗透到一切科学技术部門中去了。从物理学、天文学、地理学、地质学、化学、医学等部門一直到机械制造业、建筑业、紡織工業、食品工業等其他工業部門。到現在，很难举出有一个科学技术部門中沒有或者不可能应用無綫电測量儀器的。

§1.2 無綫电測量儀器的分類②

無綫电測量儀器基本上可以划分为两大类：

1. 专用無綫电測量儀器；

2. 通用無綫电測量儀器。

所謂专用無綫电測量儀器是用来測量某种特定的無綫电技術設備的，它們的結構取決于測量對象的特定結構及其工作原理，它們的功能服從于具體的特定要求，它們往往不能夠借作其他用途。例如一具電視測試用圖象訊號發生器只能用于電視接收機圖象訊道的測量，它既不能用来測定一般無綫电接收機的質量指標，也不可能用来測量雷達指示器的工作狀態。

至于通用無綫电測量儀器，是用来測量一定的物理量或無綫电技術設備的某些參數，而這些測量本身與測量對象的結構特點及工作原理並沒有不可分割的關係。因此，通用無綫电測量儀器可以認為是獨立的無綫电技術設備，其構造並不取決于其他無綫电技術設備。這類儀器就是本課所研究的對象，因此以下所談到的無綫电測量儀器基本上就是指通用無綫电測量儀器。

現代的無綫电測量儀器，如同所有的其他儀器一樣，主要可以按照它們的用途、工作原理、運用條件、結構、準確度以及刻度方法等等來分類。

按照用途來分，無綫电測量儀器就可以分為測量電流的、電壓的、功率的、頻率的以及元件參數等等的測量儀器。

按照工作原理來分，無綫电測量儀器就可以依其所用電路的不同性質而分為電子的、熱效应的等等無綫电測量儀器。

按照運用條件來分，無綫电測量儀器就可以根據其氣候的、機械的等等各種要求來分類。

按照結構來分，無綫电測量儀器就可以分為便攜式的、移動式的以及固定式的多種。

按照準確度來分，無綫电測量儀器也可以分為各種等級。

以下我們對無綫电測量儀器，主要按其用途加以分類，并列表如下：

通用无线电测量仪器分类表

标志	组别	组序	仪器名称	标志	组别	组序	仪器名称
A	测量电流的仪器	1	安培表校验装置	P	测量分布参数的仪器	1	测量线
		2	直流安培表			2	驻波系数和反射系数测量仪
		3	交流安培表			3	全阻抗和全导纳测量仪
		4	通用安培表			4	衰减测量仪
B	测量电压的仪器	1	伏特表校验装置	q	测量频率的仪器	5	电缆测试仪
		2	直流伏特计			1	频率测量仪的校验设备和标准频率复制品
		3	交流伏特计			2	谐振频率计
		4	脉冲伏特计			3	电子计数频率计
		5	相敏伏特计			4	外差频率计
		6	选择性伏特计			5	晶体校准器
		7	通用伏特计				
M	测量功率的仪器	1	功率测量仪的校验装置	Φ	测量相位和时延的仪器	1	相位测量仪的指示和校验设备
		2	通过功率测量仪			2	相位计
		3	吸收功率测量仪			3	测量用移相器
		4	热变电阻和辐射热电阻电标的功率测量仪			4	相关测量仪
		5	热变电阻和辐射热电阻的探头			5	群延时测量仪
E	测量集中参数的仪器	1	参数测量仪的指示和校验装置	C	观察和研究信号波形及频谱的仪器	1	示波器
		2	电阻量度			2	调幅系数测量仪
		3	电感量度			3	频偏测量仪
		4	电容量度			4	频谱分析仪
		5	电导量度			5	谐波分析仪
		6	电阻测量仪			6	非线性失真系数测量仪
		7	电感测量仪	X	观察和研究无线电设备的仪器	1	研究频率特性的仪器
		8	电容测量仪			2	研究过渡特性的仪器
		9	品质因数测量仪			3	研究相位特性的仪器
		10	全阻抗和全导纳测量仪			4	研究振幅特性的仪器
		11	材料的电磁性能测量仪			5	噪声系数测量仪
		12	通用参数测量仪	H	脉冲测量的专用仪器	1	校验脉冲测量仪器的设备

通用无线电测量仪器分类表

标志	组别	组序	仪器名称	标志	组别	组序	仪器名称
II	脉冲测量的专用仪器	2	时间间隔(脉冲的偏移、前后沿及持续期等)测量仪	II	衰减器和分压器	6	分压器
		3	脉冲计数器			1	匹配变压器
		4	脉冲分析仪			2	接头
		5	延迟线			3	换接器
						4	移相器
II	测量放大器	1	直流电压放大器	III	同轴线和波导系统的元件	5	定向耦合器
		2	选择性交流电压放大器			6	T形接头和环形电桥
		3	宽带交流电压放大器			7	检波和混频探头
		4	通用放大器			8	连接元件
II	测量场强和无线电干扰的仪器、天线测量仪、测量用接收机	1	场强和干扰测试仪及测量用接收机的校验设备	IV	测量用的发生器	9	负载阻抗
		2	场指示器			10	等效天线
		3	场强测量仪			1	测量用发生器的校验设备
		4	无线电干扰测量仪			2	噪声发生器
		5	测量用接收机			3	信号发生器
		6	测量用天线			4	标准信号发生器
		7	天线测量仪			5	脉冲发生器
II	衰减器和分压器	1	衰减器的校验设备	V	测量电子管和半导体器件参数的仪器	6	特殊波形信号发生器
		2	电阻衰减器			1	电子管参数和特性曲线测试仪
		3	电容衰减器			2	半导体器件参数和特性曲线测量仪
		4	临界衰减器			3	超高频电真空器件(速调管、行波管、磁控管等)测量仪
		5	吸收式衰减器				

§1.3 无线电测量仪器的生产特点、计量标准 以及发展方向③④⑤

前面已经说过：无线电测量技术已发展成为具有本身特点的一个特殊技术部门。无线电工业的一个特殊部门——无线电测量仪器工业也已形成。

这一技术部门的特点是：

(1) 它具有多样性。

無線電測量技術应当保證能夠測試各種不同產品和零件的各類參數，並保證滿足其他各種不同的需要。

(2) 無線電測量技術應當和電子學技術的其他部門同時發展，因為沒有有關的無線電測量儀器，就不可能進行科學研究或新產品的研制工作。

(3) 無線電測量儀器應當比被測的產品具有更高的精確度和穩定度。由於對精確度的要求較高，就需要做出各類計量標本及測量儀器，並制訂標準儀器的鑒定方法，以便利用一些基本的計量單位來校準各種各樣的無線電測量儀器。

因此，無線電測量儀器生產的首要任務之一就是正確選擇無線電測量儀器的品種，要做到：雖然所造的品種較少，但能保證盡量滿足對儀器的要求。

選擇品種應遵循那些原則呢？下面提出幾點，可供參考。

(1) 根據某種測試做出成套儀器。

不允許生產主要特性相同的各類儀器。

資本主義國家相互競爭的許多公司就生產了同一用途的許多儀器。譬如美國就有五十多家公司生產真空管電壓表，這些電壓表看起來好象是不同的，但實際上相互間很少有什麼差別。

在社會主義國家，國民經濟的發展是有計劃的和按比例的，即使在生產無線電測量儀器的個別具體問題上，也堅決採取正確選擇無線電測量儀器品種的路線，要求這些儀器的測試範圍是連續性的。例如訊號發生器、真空管電壓表等等，都整套的研制出來，並且計劃生產。

(2) 做具有幾種不同功用或頻帶特別寬的綜合儀器。

遵循這一原則就可能減少儀器的品種，也可簡化批量生產。例如，做一種供頻率範圍和電壓範圍較寬的交流電壓測試用的萬用電壓表是最合適的，另外也希望此類儀器能測量幾歐到幾百或幾千兆歐的電阻值。但是，象某些資本主義國家公司的儀器，過分地在一種儀器中把幾種功用合併在一起也是不合理的。因為這樣做就會使儀器複雜化，從而使批量生產時發生許多困難。除此以外，用綜合性儀器也難獲得象用單個儀器所能取得的同等的技術指標。

(3) 另一原則是無線電測量儀器某些元件的統一化。

如所周知，統一化大大地簡化了產品的批量生產，這一點對無線電測量儀器的關係就更特別重大。因為無線電測量儀器的品種多，但批量性則較小。譬如，某幾種標準信號發生器可完全採用同一類型的電源部分和調制部分，而且高頻部分可採用許多共同的元件；在結構方面也可以完全一樣。這就是說，儀器中最大限度地採用共同元件。

同時，因為無線電技術發展得非常之快，並在精確度方面和測量範圍方面提出越來越高的要求，因此必須專門研究無線電計量方面的問題，相應地成立研究所或實驗室。這些研究所研制無線電計量所必需的各類標本儀器和度量。無線電計量標準鑒定實驗室一般應具備下列設備：

(1) 標本頻率標準——50兆赫—6000兆赫，精確度 10^{-7} ；

(2) 真空管電壓表鑒定用標本裝置——30兆赫—1000兆赫，精確度0.2%。

(3) 標準信號發生器的衰減器鑒定用標本裝置——100千赫—5000兆赫，誤差不

大于0.3—1.5分貝；

(4) 波长表鑒定用标本裝置——100千赫—7500兆赫，精确度 5×10^{-3} ；

(5) 小功率测试仪鑒定用标本裝置——100千赫—7500兆赫；

(6) 大功率测试仪鑒定用标本裝置——誤差不大于0.3分貝；

(7) 衰减器和定向耦合器鑒定用标本裝置——10000兆赫，誤差不大于0.1—0.5分貝；

(8) 測量綫鑒定用标本裝置——15千兆赫；

(9) 高频电感、电阻、电容鑒定用标本裝置；

(10) 标准总阻抗鑒定用标本裝置——7500兆赫；

(11) 脉冲测试仪鑒定用标本裝置；

(12) 功率测试仪鑒定用标本裝置；

(13) 非线性失真测试仪鑒定用标本裝置；

(14) Q表鑒定用标本裝置；

(15) 場强测试仪鑒定用标本裝置。

最后还必须提到無線电測量仪器最近的发展方向有下列几个方面：

(1) 扩展頻率；

(2) 正在进行特短脉冲 (10^{-9} — 10^{-10} 秒) 测试仪的工作；

(3) 正在研制数字式电子仪器；

(4) 測量仪器的半导体化和小型化的工作。

§1.4 無線电測量仪器課程的任务

可以指出，如果进一步研究和比較一下在無線电測量中所使用的各种仪器时，可以得到这样一个結論：其中許多仪器大抵可以由下列三个基本組成部分构成的，即：

1. 訊号源

2. 測量电路

3. 指示器

例如一个Q表是由一个高频振荡器、一个串联諧振回路和一个电子管伏特計組成的。又如一个頻率特性測量仪是由一个調頻訊号發生器和一个电子示波器組成的；而一个电场强度計則是由一个标准訊号發生器、一个标准天綫和一个接收机——伏特計組成的。正是由于这样的原因，我們將以各类訊号發生器和指示器（电子管伏特計和电子示波器）作为研究的重点。掌握了这些重点之后再研究其余的各种仪器时，就不再会有很大的困难了。

还应该指出：本課并没有包括微波測量仪器。虽然它們也是十分重要的和常用的無線电測量仪器，但是它們在設計結構上的特点却是和頻率在350—1000兆赫以下的無線电測量仪器有区别的。前者主要是要考虑电磁場理論和精密机械加工的問題，而后者偏重于电路分析及結構布置等問題。因此，关于微波測量仪器的計算和設計問題，将是另一課程的任务。

必須強調：在研究無線電測量儀器時，我們應該着重於具有相當普遍意義的基本問題的分析，例如對整個儀器的準確度起決定影響的各種誤差因素的分析 and 研究。在討論無線電測量儀器的設計問題時，同樣也應該着重於具有普遍意義的原則性問題的分析 and 研究。例如對於儀器的一些基本方框電路的分析和比較，而不限於個別電路的分析。至於具體的工程設計和計算的步驟方法等等問題，則儘可能結合實際具體典型電路進行，俾便作為示例，從而舉一反三，借以創造條件進一步深入研究。

事實上通用無線電測量儀器的設計，首先在於根據各種可能適用場合的要求，確定相應的有關參量。然後正確的擬定出儀器的工作原理和同時選擇適當的方框圖，接着就是對每一個方框決定採用具體的電路和進行電路元件的計算；然後是整個設備的進一步的結構設計。顯然，這些實際上就是設計任何一種無線電技術設備共有的一般步驟和方法。

因此，在敘述的方法上，這本講義將採用下列一些步驟：對於各種各樣的無線電測量儀器基本上按其用途的不同分章敘述分析。同時在每一章開始時對這一用途的無線電測量儀器，例如電壓測量儀器、電子示波器等進行一般的概述，同時對其中主要的測量儀器介紹各種常見的先進的典型儀器的技術指標和具體電路。但是在這裡介紹各種典型儀器的具體電路的目的，重點不是在於個別電路細節的描述，而是要求了解其基本方框圖；同時在這裡對典型儀器的技術指標的介紹也不是為了對產品性能的記憶和背誦，而是為了結合儀器的具體電路方框原理，說明技術指標和方框結構這兩者之間存在着密切的關係。

在了解了電路整個方框結構與技術指標之間關係的基礎上，我們進一步便對方框圖中的各個組成方框進行分析研究，而分析研究的重點就在於對各個組成方框在整個電路中所要求的特定性能的分析，而不是僅僅電路工作過程的描述。至於對每個組成方框中所可能帶來的各種誤差因素，前面已經說過，這些誤差對整個儀器的準確度將起決定性的影響，這是具有相當普遍意義的基本問題，必須進一步在理論上加以分析探討。

最後，在對於各個組成方框逐個進行了分析探討的基礎上，儘可能結合實際具體典型電路進行具體的工程設計和計算示例，並扼要介紹近年來在各種測量儀器方面的試制經驗點滴。

當然，這是很明顯的，用大量的設計計算規程和示例來充塞篇幅是不妥當的，而且也是不可能的。因為不可能將千變萬化而且日新月異的各種可能情況包羅盡致。此外，企圖用一本書來代替許多各式各樣的參考資料：包括各種手冊、圖算表和曲線圖、儀器說明書、產品目錄、專題著述文獻、試制經驗總結等，顯然也是辦不到的。當然，在工作過程中，經常搜集、整理和使用這些大量的有關資料確是十分必要和重要的。

參 考 資 料

①B·IO·羅金斯基：無線電測量儀器的計算及設計（緒論），成都電訊工程學院油印，1957。

②Г·П·Шкурин：Справочник по Элект. и Радиоизмерительным Приборам (Р·П·

§3)，1960。

③A·A·留利柯夫：無線電測量仪表生产的某些特点和苏联在这一領域中所采取的途徑，電訊技術譯丛第四期，1958。

④楊龙生：談电子仪器發展中的几个問題，電信科学（1953.2）

⑤葛果行：电子仪器在電信測量上应用的新發展，電信科学（1957.7）

第二章 电子管伏特計

§2.1 电压測量仪的一般特性及對电压測量仪的要求〔1〕

几乎所有的电压測量仪，基本上都是直讀式仪表，它們对被测电压可以进行直接測量。根据被测电压頻率的不同而使用下列各种类型的仪表：静电式的、热电式的、半导体整流元件的，以及电子管伏特計。

静电式电压表是一个机电装置，在它里面并不含有無綫电电路元件。使用多室式静电伏特計可以測量不大的电压（0—50伏），可是这种多室式静电伏特計具有相当大的固有电容，因此它只可以在电流頻率低于5000赫的电路中的应用。当測量比較高的电压（千伏計）时，可使用单室式的静电伏特計。单室式的静电伏特計的固有电容很小，因此它可以測量頻率高达25兆赫的电压。

热电式电压測量仪很少用作通用仪表，工業上几乎不制造这种仪表。这是由于：当被测电压的頻段很寬或者頻率相当高时，利用普通的附加电阻来构成电压計几乎是不可能的，而使用平行双綫段和同軸綫段作为附加电阻时，其頻率却是很临界的。

半导体整流元件的伏特計是比較常見的，但它由于集膚效应及分布参数的影响，作为电压測量仪也有一些限制。其中主要原因之一是半导体整流元件的参数不稳定，甚至用适当方法制造出来而且經過人工陈化的氧化亚銅（氧化銅）的整流元件也不能保証参数应有的稳定性。除此之外，半导体整流元件有相当大的固有电容，不能保証在很寬的頻段内其整流特性的恒定性。实际上应用氧化亚銅整流元件的电压仪的使用頻率只能高达5000赫。当采用頻率矯正电路时，被测电压的頻率也只能提高到20千赫。总之，这类測量仪的相当大的輸入电容限制它們应用在比較高的頻率。此外，对于被测电压的电源功率而言，这类仪表所消耗的功率还是不小的。这也就是說，它的輸入电阻是不够大的。

利用锗或硅的点接触型半导体二極管作为整流元件，頻率上限可以提高到100兆赫或甚至1000兆赫。但是到目前为止，这类整流元件的工業产品还有不少缺点：例如温度系数大、内部噪音高，較不能承受大的过载，以及同一型号的元件，彼此之間电参数的差异很大等等。因此虽然这类元件的發展前途很是远大，这是無可怀疑的，但目前它們的应用仍有限制。

綜上所述，作为电压測量仪，應該對它們提出下列基本要求：

1. 要在尽可能較寬的頻率範圍內保証一定的准确度，即頻率誤差小，或頻率响应平直；
2. 具有較高的灵敏度和稳定性；
3. 对被测电路的影响要小。換句話說，从被测电路吸取的能量应尽可能少，亦即伏

特計本身的輸入阻抗應尽可能高。

根据上述这些要求，就决定了电子管伏特计的無比优越性。在直流电压的测量中，仅有耗能極小的电位計尚可与之抗衡，而在交流电压的测量中，特别是較高頻率电压的测量中，电子管伏特计的优越性就顯得更突出了。电子管伏特计的主要优点在于：

1. 頻率範圍很寬，可以測量直流或从20赫到500兆赫，甚至1500兆赫的高頻电压；
2. 輸入阻抗可达 10^6 欧或更高，而与之相并聯的輸入电容可低达1—3微微法；
3. 电压量程很广，檢波放大式的电子伏特计一般可測量出小于1伏的电压以至高达几百伏至几万伏（外加分压器）的电压；而在放大檢波式电子管伏特计中則可以在100兆赫以下測量低于1毫伏的电压；
4. 溫度的影响較小；
5. 可以忍受長期的大过载；
6. 特性容易控制，可以測量电压的峰值、有效值或平均值；
7. 刻度比較恒定，而且容易校准。

当然电子管伏特计也有它的缺点：

1. 准确度不太高，一般不超过2.5級；
2. 結構比較复杂，因而价格也較昂貴；
3. 需要穩定的电源供給；
4. 需要經常的維修校准工作。

52.2 电子管伏特计的基本方框圖及其主要的技术指标〔2〕〔3〕〔4〕

測量交流电压的电子管伏特计，其方框圖如图2—1所示。

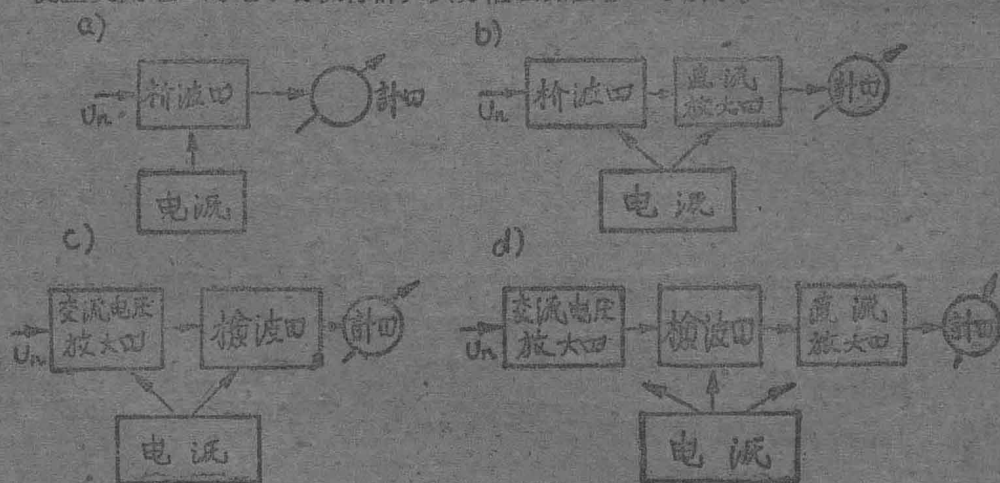


圖2—1 电子管交流伏特计的方框圖

方框圖2—1a仅由一个檢波器和一个計器組成，因此測量的量程有限。同时由于这些缺点存在，故通用仪器中很少采用。

显然，量程由檢波器的特性和計器的灵敏度来决定。为了測量微弱的电压（数量級

为毫伏的电压)，在圖2—1a中需要采用灵敏的直流电流計，因此在測量过程中伏特計的移动受到限制，因为电流計对于震动是很灵敏的。在方框圖2—1a中的檢波器可用栅極檢波，以提高灵敏度，但其缺点是輸入阻抗很低，不能接到小功率的被測电压电源上，并且这时頻带也急剧地縮狭。如果采用二極管檢波或三極管板極檢波，則量程更加縮小。当用三極管来进行板極檢波时，通常的測量量程約为0.1—4伏。如果用二極管来进行檢波，測量量程約为1.0—10伏。

在圖2—1b中，被測电压通常經過二極管檢波以后，将所得到的直流电流进行直流放大，然后用計器来測量。由于經過直流放大器的放大，所以可用灵敏度不太高的磁电式直流計器来作为指示器。

圖2—1b的电子管伏特計应用得最为广泛。它甚至在不用衰减器时也能保証測量范围从几十分之一伏到几百伏。当需要扩大伏特計輸入电压的上限时，則接入分压器（衰减器）。

具有方框圖2—1c的电子管伏特計，为了能測量很小的电压（毫伏級），被測电压首先进行交流放大，然后将放大后的电压进行檢波。整流后的直流可以直接加到指示器上，或者是再用直流放大器放大以后再加到指示器上，如方框圖2—1d所示。这两种电子管伏特計的測量范围和頻段是由放大器的特性来决定的。改变放大系数，以及在中間放大級接入适当的衰减器，就可以調整測量的范围。

电子管伏特計的上述方框圖可能有一些变化，这是由于附加了一些輔助部分，以便伏特計获得某种特定的性能。同时在上述方框圖中，可以采用不同状态和不同檢波方式的各种类型的电子管。在某些情况下，电子管和一些类型的半导体整流元件是可以混合使用的。

电子管伏特計的主要技术指标是：測量量程、輸入阻抗、工作頻段和許可誤差，后者包括被測电压的頻率附加誤差及量程附加誤差等等。

測量量程：綜上所述，电子管伏特計的量程决定于它所采用的方框結構。在檢波放大式的电子管伏特計中，由于二極管的伏安特性曲线下段弯曲不修理想，用它来測量太低的电压是有困难的。特别是当被測电压低于0.1伏时，实际上不可能进行准确的測量。而在放大檢波式的电子管伏特計中，由于放大作用，可以測量到毫伏以下的数量級。

通常电子管伏特計的測量上限約为150伏到300伏，当采用了固定分压系数的分压器以后，可以扩展量程。

輸入阻抗：电子管伏特計的輸入阻抗取决于其輸入电路。在檢波放大式的电子管伏特計中，輸入电路一开始就是二極管檢波器。由于二極管板流是由被測电压源供給的，因此輸入阻抗不可能提得很高。在輸入电路用陰極輸出器或用三極管作成板極檢波器时，由于它們都是靜电控制方式工作的（無栅流工作状态），因而其輸入阻抗可以达到很高的數值。但是，随着被測电压頻率的升高，由于三極管具有較大的电子渡越時間以及電極引綫比較复杂等等因素，測量誤差增漲很快。同时三級管的輸入阻抗将大大降低。而二極管檢波器，則在相当高的頻率时仍能保持相当高的輸入阻抗。因此在測量相当高頻率的电压时，三級管受到限制。而二極管檢波放大式电子管伏特計得到广泛的应用，同时其輸入电容可以不超过几个微微法。